

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2003 年 4 月 3 日 (03.04.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/028073 A1

(51) 国際特許分類⁷: H01L 21/027, G03F 7/20, G01M 11/02

(21) 国際出願番号: PCT/JP02/09810

(22) 国際出願日: 2002 年 9 月 24 日 (24.09.2002)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2001-292878 2001 年 9 月 26 日 (26.09.2001) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社
ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8331
東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 白石 直正 (SHI-
RAISHI, Naomasa) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田
区丸の内三丁目2番3号 株式会社ニコン内 Tokyo
(JP).

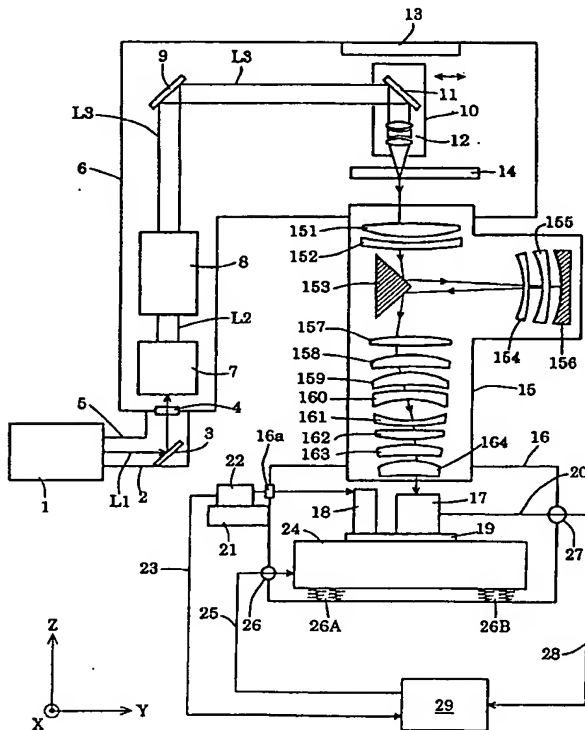
(74) 代理人: 山口 孝雄 (YAMAGUCHI, Takao); 〒101-0048
東京都千代田区神田司町二丁目10番地 第一ビル
Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB,
BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO,

[続葉有]

(54) Title: ABERRATION MEASURING DEVICE, ABERRATION MEASURING METHOD, REGULATION METHOD FOR OPTICAL SYSTEM, AND EXPOSURE SYSTEM PROVIDED WITH OPTICAL SYSTEM REGULATED BY THE REGULATION METHOD

(54) 発明の名称: 収差測定装置、収差測定方法、光学系の調整方法、および該調整方法で調整された光学系を備えた露光装置



(57) Abstract: An aberration measuring device capable of very accurately measuring the residual aberration of an optical system caused by the double refraction of an optical member formed of a crystal such as fluorite. An aberration measuring device for measuring the aberration of an optical system (15) including an optical member formed of a crystal belonging to a cubic system. The device comprises light flux irradiation units (1-13) for applying specific light flux to an optical system, and an aberration measuring unit (17) for measuring the aberration of the optical system based on a light flux passed through the optical system. A light flux irradiation unit has a polarization switching means for switching the polarizing condition of a specified light flux between a first linear polarization polarized along a first direction and a second linear polarization polarized along a second direction almost orthogonal to the first direction.

[続葉有]



NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), OAPI 特

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

蛍石などの結晶で形成された光学部材の複屈折に起因する光学系の残存収差を高精度に測定することのできる、収差測定装置。立方晶系に属する結晶で形成された光学部材を含む光学系（15）の収差を測定する収差測定装置。光学系に所定の光束を照射するための光束照射ユニット（1～13）と、光学系を透過した光束に基づいて光学系の収差を計測するための収差計測ユニット（17）とを備えている。光束照射ユニットは、第1の方向に沿って偏光した第1の直線偏光と、第1の方向とほぼ直交する第2の方向に沿って偏光した第2の直線偏光との間で、所定の光束の偏光状態を切り換えるための偏光切換え手段を有する。

明 細 書

収差測定装置、収差測定方法、光学系の調整方法、
および該調整方法で調整された光学系を備えた露光装置

技術分野

本発明は、収差測定装置、収差測定方法、光学系の調整方法、および該調整方法で調整された光学系を備えた露光装置に関する。本発明は、特に半導体素子や液晶表示素子などのマイクロデバイスをフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に搭載される投影光学系の収差測定に関するものである。

背景技術

半導体集積回路や液晶ディスプレイ等の電子デバイス（マイクロデバイス）の微細パターンの形成に際して、形成すべきパターンを4～5倍程度に比例拡大して描画したフォトマスク（レチクルとも呼ぶ）のパターンを、投影露光装置を用いてウエハ等の感光性基板（被露光基板）上に縮小露光転写する方法が用いられている。この種の投影露光装置では、半導体集積回路の微細化に対応するために、その露光波長が短波長側へシフトし続けている。

現在、露光波長はKrFエキシマレーザーの248nmが主流となっているが、より短波長のArFエキシマレーザーの193nmも実用化段階に入りつつある。さらに、波長157nmのF₂レーザーや波長126nmのAr₂レーザー等の、いわゆる真空紫外域と呼ばれる波長帯の光を供給する光源を使用する投影露光装置の提案も行なわれている。また、投影光学系の大開口数（NA）化によっても高解像度化が可能であるため、露光波長の短波長化のための開発だけでなく、より大きい開口数を有する投影光学系の開発もなされている。

この場合、投影光学系の露光視野（露光フィールド）が小さい方が、光学系の大NA化に有利である。そこで、投影光学系自体の視野を小さくし、その代わりにレチクルとウエハとを露光中に相対走査して実質的に大視野を確保するスキャ

ン型の露光装置も実用化されている。これらの露光装置に搭載される投影光学系には、高解像度の実現のために、その残収差が極めて小さいことが要求される。従って、投影光学系の製造工程では、光の干渉を利用した波面収差計測を行い、残収差量を露光波長の $1/1000$ 程度の精度で計測し、その計測値に基づいて投影光学系の調整を行っている。

このような微量の収差の計測では、レチクル上の1点を発し投影光学系内の各光路を経てウエハ上の1点に到達するまでの光路長の各光路による変化を表わす波面収差を計測するのが一般的である。波面収差の計測ために、干渉計の原理を応用した幾つかの方法が実用化され、提案されている。露光波長と同一の波長のレーザーを光源とするフィゾー干渉計は、計測精度が高く、投影光学系の波面収差の計測に適している。しかしながら、光源となるレーザーには、1 m以上の長さを有する投影光学系光路の往復距離（2 m）よりも大きな、進行方向への可干渉距離（時間的コヒーレンス長）が必要とされる。

露光波長が248 nmのKrFエキシマレーザーの場合には、波長がほぼ等しく、且つ時間的コヒーレンスが十分に長いレーザー（例えばアルゴンレーザーの高調波や半導体レーザーの高調波）が使用可能である。しかしながら、露光波長が193 nmのArFエキシマレーザーの場合や露光波長が157 nmのF₂レーザーの場合には、波長がほぼ等しく且つ時間的コヒーレンスが十分に長いレーザーが存在しないので、別の手法による波面収差計測が必要となる。その他の波面収差計測方法として、たとえばPDI（Point Diffraction Interferometer）、トワイマングリーン型干渉計、シェアリング干渉計等の干渉式計測方法や、シャックハルトマン方式等の各種の計測方法が実用化され、提案されている。

高解像化のために露光波長を短波長化すると、露光波長に対して良好な透過性を有する光学材料が限られてくる。波長が248 nmのKrFエキシマレーザー光に対しては、透過性の光学材料として合成石英ガラスおよび蛍石（フッ化カルシウム結晶）を使用することができる。しかしながら、波長が193 nmのArFエキシマレーザー光に対しては、石英はコンパクションの問題があるため、蛍石を用いた光学部材（蛍石レンズなど）の構成比率を高める必要がある。さらに、

波長が157 nmのF₂レーザー光の場合には、合成石英ガラスの透過性が悪く、使用可能な光学材料は事実上蛍石に限定されることになる。

蛍石は、その結晶構造が立方晶系に分類されるため、光学的に等方であり複屈折はないものと考えられてきた。しかしながら、2001年5月に開かれたSEMATECH主催の157-Workshopにおいて、米国NISTより蛍石の本質的な複屈折が報告され、約200 nm以下の波長の光に対して蛍石が比較的大きな複屈折を有することが明らかになった。また、蛍石以外の立方晶系の結晶材料、例えばフッ化バリウムやフッ化ストロンチウムも、このような短波長光に対して複屈折を有することが判明した。

ただし、この本質的な複屈折 (intrinsic birefringence) の量は、光の波長と、結晶格子の方向と結晶中の光の進行方向との角度関係とに基づいて、一義的に決まるものである。したがって、光学設計の段階において、複屈折の量を予測し、その影響を設計的に補正することが可能である。より具体的には、各蛍石レンズの光軸を蛍石結晶の所定の結晶軸に一致させるとともに、別の所定の結晶軸が所定の方向を向くように各蛍石レンズをその光軸廻りに所定角度回転させて配置すること等により、蛍石の複屈折による悪影響を相殺することが可能である。

しかしながら、上述の手法により蛍石の複屈折に起因する収差が設計上ほぼ完全に補正されていたとしても、実際に製造される投影光学系では、各蛍石レンズの製造誤差や各蛍石レンズの位置決め誤差（取付け誤差）によって、蛍石の複屈折に起因する収差が残存している可能性がある。

発明の開示

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、たとえば蛍石などの結晶で形成された光学部材の複屈折に起因する光学系の残収差を高精度に測定することのできる、収差測定装置および収差測定方法を提供することを目的とする。

また、本発明の収差測定装置および収差測定方法を用いて高精度に測定した収差結果に基づいて、複屈折に起因する光学系の残収差を良好に除去することのできる、光学系の調整方法を提供することを目的とする。

さらに、本発明の調整方法を用いて良好に光学調整された良好な光学性能を有する光学系を備えた露光装置を提供することを目的とする。

また、本発明は、良好な光学性能を有する光学系が搭載された露光装置を用いて、高解像度の露光技術にしたがって高性能のマイクロデバイスを製造することのできるマイクロデバイス製造方法を提供することを目的とする。

前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、立方晶系に属する結晶で形成された光学部材を含む光学系の収差を測定する収差測定装置であって、

前記光学系に所定の光束を照射するための光束照射ユニットと、

前記光学系を透過した光束に基づいて前記光学系の収差を計測するための収差計測ユニットとを備え、

前記光束照射ユニットは、第1の方向に沿って偏光した第1の直線偏光と、前記第1の方向とは異なる第2の方向に沿って偏光した第2の直線偏光との間で、前記所定の光束の偏光状態を切り換えるための偏光切換え手段を有することを特徴とする収差測定装置を提供する。

第1発明の好ましい態様によれば、前記収差計測ユニットは、前記第1の直線偏光の光束が照射された前記光学系を透過した光束に基づいて計測した第1収差計測結果と、前記第2の直線偏光の光束が照射された前記光学系を透過した光束に基づいて計測した第2収差計測結果とに基づいて、前記光学部材の複屈折に起因する前記光学系の収差を測定する。

また、第1発明の好ましい態様によれば、前記偏光切換え手段は、入射光束から所定の方向に沿って偏光した所定の直線偏光の光束を分離するための直線偏光分離手段と、前記直線偏光分離手段を介して分離された前記所定の直線偏光の光束の偏光面を、前記所定の直線偏光の光束の中心軸線を中心として回転させるための偏光面回転手段とを有する。この場合、前記直線偏光分離手段は、ロションプリズムを有することが好ましい。また、前記偏光面回転手段は、前記中心軸線を中心として回転可能な $1/2$ 波長板を有することが好ましい。あるいは、前記偏光面回転手段は、前記中心軸線を中心として回転可能な第1の $1/4$ 波長板と、前記中心軸線を中心として回転可能な第2の $1/4$ 波長板とを有することが好ま

しい。

本発明の第 2 発明では、立方晶系に属する結晶で形成された光学部材を含む光学系の収差を測定する収差測定方法であって、

第 1 の方向に沿って偏光した第 1 の直線偏光の光束を前記光学系に照射する第 1 照射工程と、

前記第 1 の直線偏光の光束が照射された前記光学系を透過した光束に基づいて前記光学系の収差を計測するための第 1 収差計測工程と、

前記第 1 の方向とは異なる第 2 の方向に沿って偏光した第 2 の直線偏光の光束を前記光学系に照射する第 2 照射工程と、

前記第 2 の直線偏光の光束が照射された前記光学系を透過した光束に基づいて前記光学系の収差を計測するための第 2 収差計測工程と、

前記第 1 収差計測工程で得られた第 1 収差計測結果と前記第 2 収差計測工程で得られた第 2 収差計測結果とに基づいて、前記光学部材の複屈折に起因する前記光学系の収差を測定する収差測定工程とを含むことを特徴とする収差測定方法を提供する。

第 1 発明および第 2 発明の好ましい態様によれば、前記第 1 の方向と前記第 2 の方向とはほぼ直交する。また、前記光束の波長は、193 nm または 157 nm であることが好ましい。

本発明の第 3 発明では、第 1 発明の収差測定装置を用いて測定された前記光学系の収差測定結果、または第 2 発明の収差測定方法を用いて測定された前記光学系の収差測定結果に基づいて、前記光学部材の複屈折に起因して前記光学系に残存する収差を実質的に除去するために前記光学系を光学調整する光学調整工程を含むことを特徴とする調整方法を提供する。

第 3 発明の好ましい態様によれば、前記光学調整工程は、前記光学部材を前記光学系の光軸を中心として回転させるクロッキング工程と、前記光学部材を前記光軸に沿って移動させる移動工程と、前記光学部材を前記光軸とほぼ直交する面に沿って移動させるシフト工程と、前記光学部材を前記光軸に対して傾斜させるチルト工程とのうちの少なくとも 1 つの工程を含む。

本発明の第4発明では、マスクを照明するための照明光学系と、

前記マスクに形成されたパターンの像を感光性基板上に形成するための第3発明の調整方法で調整された光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

本発明の第5発明では、第4発明の露光装置を用いて前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する露光工程と、前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法を提供する。

図面の簡単な説明

第1図は、本発明の実施形態にかかる収差測定装置および収差測定方法を適用すべき投影光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

第2図は、本発明の実施形態にかかる収差測定装置の構成を概略的に示す図である。

第3図は、第2図の収差計測ユニットとしてのシェアリング干渉計の構成を概略的に示す図である。

第4図は、第2図の収差計測ユニットとしてのシャックハルトマンセンサーの構成を概略的に示す図である。

第5図は、第2図の偏光制御光学系の構成を概略的に示す図である。

第6図は、第5図の1/2波長板に代えて一對の1/4波長板を用いた変形例を示す図である。

第7図は、第2図の投影光学系によって偏光の変換がどの程度生じているかを計測するための偏光変換計測ユニットの構成を概略的に示す図である。

第8図は、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

第9図は、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

発明を実施するための最良の形態

複屈折とは、光の偏光方向によって屈折率が異なること、すなわち屈折角度や媒質（レンズ）中を伝搬する光の波長が光の偏光方向によって異なることを意味する。本発明の収差測定装置および収差測定方法においては、光学系の収差計測に際し、偏光方向が異なる2つの直線偏光光束、具体的には互いに直交する偏光方向を有する2つの直線偏光光束を用いて各直線偏光に対する収差を独立に計測する。こうして、互いに直交する方向に偏光面を有する直線偏光が受ける波面収差をそれぞれ計測することが可能である。その結果、互いに直交する偏光方向を有する2つの直線偏光による収差計測値の差として、複屈折に起因する光学系の収差量を測定（算定）することができる。

また、本発明の収差測定装置および収差測定方法を用いて複屈折による収差が得られると、この収差計測結果と蛍石等の光学材料の複屈折特性と光学部材（レンズ）の設計データとなどに基づいて、どの光学部材をどの程度調整（すなわち光学部材を光軸中心に回転させるクロッキング調整や、光学部材を光軸に沿って移動させる移動調整や、光学部材を光軸とほぼ直交する面に沿って移動させるシフト調整や、光学部材を光軸に対して傾斜させるチルト調整など）すれば複屈折の影響を除去することが可能であるかを推定することが可能である。その結果、この推定結果に基づいて、所定の光学部材に所定の光学調整を施すことにより、複屈折に起因する光学系の残収差を除去することが可能になる。

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

第1図は、本発明の実施形態にかかる収差測定装置および収差測定方法を適用すべき投影光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。なお、第1図において、投影光学系P Lの基準光軸A Xに平行にZ軸を、基準光軸A Xに垂直な面内において第1図の紙面に平行にY軸を、基準光軸A Xに垂直な面内において第1図の紙面に垂直にX軸を設定している。

第1図に示す露光装置は、紫外領域の照明光を供給するための光源L Sとして、F₂レーザー光源（波長157nm）またはArFエキシマレーザー光源（波長193nm）を備えている。光源L Sから射出された光は、照明光学系I Lを介

して、所定のパターンが形成されたレチクル（マスク）Rを均一に照明する。なお、光源LSと照明光学系ILとの間の光路はケーシング（不図示）で密封されており、光源LSから照明光学系IL中の最もレチクル側の光学部材までの空間は、露光光の吸収率が低い気体であるヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

レチクルRは、レチクルホルダRHを介して、レチクルステージRS上においてXY平面に平行に保持されている。レチクルRには転写すべきパターンが形成されており、パターン領域全体のうちX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形状のパターン領域が照明される。レチクルステージRSは、図示を省略した駆動系の作用により、レチクル面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はレチクル移動鏡RMを用いた干渉計RIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

レチクルRに形成されたパターンからの光は、投影光学系PLを介して、感光性基板であるウエハW上にレチクルパターン像を形成する。ウエハWは、ウエハテーブル（ウエハホルダ）WTを介して、ウエハステージWS上においてXY平面に平行に保持されている。そして、レチクルR上での矩形状の照明領域に光学的に対応するように、ウエハW上ではX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形状の露光領域にパターン像が形成される。ウエハステージWSは、図示を省略した駆動系の作用によりウエハ面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウエハ移動鏡WMを用いた干渉計WIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

また、図示の露光装置では、投影光学系PLを構成する光学部材のうち最もレチクル側に配置された光学部材（本実施形態ではレンズ151）と最もウエハ側に配置された光学部材（本実施形態ではレンズ164）との間で投影光学系PLの内部が気密状態を保つように構成され、投影光学系PLの内部の気体はヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

さらに、照明光学系ILと投影光学系PLとの間の狭い光路には、レチクルR

およびレチクルステージRSなどが配置されているが、レチクルRおよびレチクルステージRSなどを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

また、投影光学系PLとウエハWとの間の狭い光路には、ウエハWおよびウエハステージWSなどが配置されているが、ウエハWおよびウエハステージWSなどを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。このように、光源LSからウエハWまでの光路の全体に亘って、露光光がほとんど吸収されることのない雰囲気形成されている。

上述したように、投影光学系PLによって規定されるレチクルR上の照明領域およびウエハW上の露光領域（すなわち実効露光領域ER）は、Y方向に沿って短辺を有する矩形状である。したがって、駆動系および干渉計（RIF、WIF）などを用いてレチクルRおよびウエハWの位置制御を行いながら、矩形状の露光領域および照明領域の短辺方向すなわちY方向に沿ってレチクルステージRSとウエハステージWSとを、ひいてはレチクルRとウエハWとを同期的に移動（走査）させることにより、ウエハW上には露光領域の長辺に等しい幅を有し且つウエハWの走査量（移動量）に応じた長さを有する領域に対してレチクルパターンが走査露光される。

第2図は、本発明の実施形態にかかる収差測定装置の構成を概略的に示す図である。なお、第2図においても、投影光学系15（PL）の基準光軸に平行にZ軸を、基準光軸に垂直な面内において第2図の紙面に平行にY軸を、第2図の紙面に垂直にX軸を設定している。本実施形態の収差測定装置では、計測対象である投影光学系15（第1図の投影光学系PLに対応）に対して物体側（レチクルR側）から露光波長の光束を照射し、像側（ウエハW側）でその光束を受光する。そして、像側で受光した光束に基づいて、投影光学系15を透過する際に生じた収差（波面収差）を計測する。

第2図を参照すると、本実施形態の収差測定装置は、第1図の露光装置と同様

に、F₂レーザー光源（波長157nm）またはArFエキシマレーザー光源（波長193nm）からなる光源1を備えている。光源1を発した光束L1は、ミラー3およびビーム窓4を経て、整形光学系7に入射する。上述したように、このような短波長の光束は大気中の酸素による激しい吸収を受けるので、光源1からビーム窓4までの光路は気密性の遮蔽部材5で覆われている。同様に、整形光学系7から後述するテストレチクル14までの光路も、気密性の遮蔽部材6で覆われている。遮蔽部材5および6の内部には、窒素や希ガス等のように使用波長に対する吸収の少ないガスが充填（ガス置換）されている。あるいは、遮蔽部材5および6の内部を真空状態にしても良い。

整形光学系7は、光束L1をほぼ平行光束に変換し且つ光束内の照度をほぼ均一化するための光学系であり、ビームエキスパンダーやシリンドリカルレンズ等を含んでいる。整形光学系7の作用により平行光束に変換され且つ照度の均一化された光束L2は、偏光制御光学系8に入射する。偏光制御光学系8は、本発明の特徴的な構成要素であり、入射光束L2の偏光状態を所望の状態に制御する。偏光制御光学系8の詳細な構成および作用については後述する。偏光制御光学系8の作用によって偏光状態の制御された光束L3は、ミラー9により反射された後、可動式送光光学系10に入射する。

可動式送光光学系10は、ミラー11と集光レンズ群12とから構成されている。したがって、ミラー9により反射されて可動式送光光学系10に入射した光束L3は、ミラー11で反射され、集光レンズ群12を介して集光された後、テストレチクル14上の検査用パターンを照明する。ここで、ミラー11と集光レンズ群12とを一体的に保持する可動式送光光学系10は、遮蔽部材6に設けられたガイドレール13上を、テストレチクル14に平行な面（XY平面）に沿って二次元的に移動可能に構成されている。こうして、可動式送光光学系10を介した光束L3は、テストレチクル14上の任意の箇所を照明することが可能である。

テストレチクル14上の検査用パターンを透過した光束（計測光束）は、計測対象である投影光学系15に入射する。投影光学系15に入射した光束は、レン

ズ151および152を透過し、平面ミラー153の第1反射面で反射された後、レンズ154および155を介して凹面反射鏡156に入射する。凹面反射鏡156で反射された光束は、レンズ154および155を介して、平面ミラー153に再び入射する。平面ミラー153の第2反射面で反射された光束は、レンズ157、158、159、160、161、162、163および164を順次透過し、収差計測ユニット17に入射する。

ここで、収差計測ユニット17は、投影光学系15が露光装置で使用される際にウエハが配置される位置（像面位置）を基準にして配置されている。なお、投影光学系15がF₂レーザー光源の使用を前提として設計されている場合、光学系を構成するほぼすべてのレンズは蛍石（フッ化カルシウム結晶）等の立方晶系の結晶材料で形成されている。また、投影光学系15がArFエキシマレーザー光源の使用を前提として設計されている場合にも、蛍石等の立方晶系の結晶材料で形成されたレンズを含むことになる。なお、本実施形態では、反射屈折型の投影光学系15を想定しているが、計測対象の光学系は屈折型であってもよい。

収差計測ユニット17は、投影光学系15の収差（波面収差）を計測するユニットであり、その詳細な構成および作用については後述する。収差計測ユニット17は、定盤24上をXY平面に沿って移動可能なステージ19上に載置されている。本実施形態では、収差計測ユニット17と可動式送光光学系10とを投影光学系15を介して光学的に対応する位置関係に設置することによって、投影光学系15の波面収差の計測が可能になる。そして、この光学的な対応関係を保ったまま、収差計測ユニット17と可動式送光光学系10とをXY平面に沿って二次元的に移動させることにより、投影光学系15の有効視野の全体に亘って収差計測することが可能になる。

ここで、収差計測ユニット17の内部光路および投影光学系15と収差計測ユニット17との間の光路についても、酸素による光の吸収を避けるために、その空間をガス置換するか、あるいは真空にする必要がある。したがって、収差計測ユニット17、ステージ19、定盤24および後述する移動鏡18がパージ隔壁16で覆われ、その内部がガスパージまたは真空引きされている。また、パージ

隔壁 16 と定盤 24 との間には、防振材 26 A および 26 B が設けられている。

収差計測に際して、その精度を一層向上させるには、収差計測ユニット 17 の位置および可動式送光光学系 10 の位置を干渉計等の計測手段でそれぞれ計測することが好ましい。第 2 図に示す例では、収差計測ユニット 17 の位置を計測するためのレーザー干渉計 22 を台座 21 上に設置している。レーザー干渉計 22 から射出されたレーザー光は、パージ隔壁 16 に設けられた気密性のガラス窓 16 a を介してパージ隔壁 16 の内部に入射し、ステージ 19 上に設けられた移動鏡 18 で反射された後に、ガラス窓 16 a を介してレーザー干渉計 22 に戻る。レーザー干渉計 22 は、移動鏡 18 の反射面の位置を、ひいては収差計測ユニット 17 の位置を計測する。

第 2 図では、収差計測ユニット 17 の Y 方向位置を計測するための干渉計 22 のみを示しているが、その X 方向位置を計測するための干渉計を設けることがさらに好ましいことは言うまでもない。また同様に、可動式送光光学系 10 の X 方向位置および Y 方向位置を計測するための一対の干渉計を設けることが好ましい。収差計測ユニット 17 が計測した収差情報は、電気信号として外部へ伝達される。この場合、収差計測ユニット 17 からの信号線（電気配線）28 をパージ隔壁 16 の外へ導くには、パージ隔壁 16 に設けられた真空装置用の電流導入器 27 を用いるのが良い。

こうして、電流導入器 27 を介して外部へ導かれた信号線 28 は、処理装置 29 に接続されている。処理装置 29 は、収差計測ユニット 17 が検出した収差情報を信号処理して、投影光学系 15 の波面収差を算定する。また、処理装置 29 は、必要に応じて、レーザー干渉計 22 からの出力に基づいて収差計測ユニット 17 の位置を読み込み、ステージ 19 に移動指令を供給する。処理装置 29 からステージ 19 への信号線 25 は、パージ隔壁 16 に設けられた電流導入器 26 を介して、パージ隔壁 16 の内部に導かれている。

第 3 図は、第 2 図の収差計測ユニットとしてのシェアリング干渉計の構成を概略的に示す図である。本実施形態では、第 2 図の収差計測ユニット 17 として、第 3 図に示すようなシェアリング干渉計 17 A を用いることができる。この場合、

テストレチクル 14 の検査用パターンとして、いわゆるピンホール（遮光部のバックグラウンド上に形成された微小透過開口）を使用する。第 3 図を参照すると、テストレチクル 14 の検査用パターンとしてのピンホールの投影光学系 15 による投影像は、シェアリング干渉計 17 A の上方近傍の位置 F P に形成される。

位置 F P に形成されたピンホール像からの発散光束は、レンズ群 171 によって平行光束に変換され、ピッチの等しい位相グレーティング（デューティーは 1 : 1 で位相差は 180 度）172 a および 173 a が形成された 2 枚の透過性平行平板 172 および 173 に入射する。第 1 の平行平板 172 に入射した光束は、第 1 の位相グレーティング 172 a によって、図中左右に所定角度離れた 2 本の回折光に分割される。次いで、この 2 光束は第 2 の平行平板 173 に入射し、第 2 の位相グレーティング 173 a によって、再度同じ角度で左右 2 方向にそれぞれ回折される。

その結果、第 1 の位相グレーティング 172 a で左に回折し、第 2 の位相グレーティング 173 a で右に回折した光束（光束 A）と、第 1 の位相グレーティング 172 a で右に回折し、第 2 の位相グレーティング 173 a で左に回折した光束（光束 B）とは、図中実線で示すように同一方向に沿ってレンズ群 174 に入射する。レンズ群 174 を介して集光された光束は、レンズ群 176 を介して集光された後、CCD 等の撮像素子 177 の撮像面上に 2 つの光束の干渉縞を形成する。光束 A と光束 B とは、元々同一の光束であり且つ投影光学系 15 の波面収差情報を有する。しかしながら、撮像素子 177 上では、位相グレーティング 172 a および 173 a のピッチと、位相グレーティング 172 a と位相グレーティング 173 a との光軸に沿った間隔とで決まる量だけ、光束 A と光束 B とが位置シフトして重ね合わされることになる。

こうして、撮像素子 177 上の干渉縞には投影光学系 15 の波面収差情報の上記位置シフト量分だけの差分が現れることになり、この干渉縞を解析することにより投影光学系 15 の波面収差（収差）を算定することができる。なお、上述のように、位相グレーティング 172 a と 173 a との間隔を変更すると、この位置シフト量すなわち差分間隔を変更することができるので、2 枚の平行平板 1

7 2 および 1 7 3 は光軸方向（図中上下方向）に移動可能な構造とすることが望ましい。

また、位相グレーティング 1 7 2 a および 1 7 3 a から生じる回折光は、上記の光束 A および光束 B だけではなく、図中破線で示すような不要な回折光も生じ、この不要光が波面収差測定の精度を悪化させる恐れがある。そこで、レンズ群 1 7 4 とレンズ群 1 7 6 との間に開口絞り 1 7 5 を設け、この開口絞り 1 7 5 により不要な回折光を遮蔽することが好ましい。なお、シェアリング干渉計 1 7 A においても、使用する測定光が吸収されないように、その内部をガス置換するか、あるいは真空にする必要がある。また、場合によっては、撮像素子 1 7 7 からの信号線も、真空装置用の電流導入器等を介して、シェアリング干渉計 1 7 A の外部へ導くことが望ましい。

第 4 図は、第 2 図の収差計測ユニットとしてのシャックハルトマンセンサーの構成を概略的に示す図である。本実施形態では、第 2 図の収差計測ユニット 1 7 として、第 4 図に示すようなシャックハルトマンセンサー 1 7 B を用いることもできる。この場合にも、テストレチクル 1 4 上の検査用パターンとしてピンホールを使用する。ピンホールの投影光学系 1 5 による投影像は、シャックハルトマンセンサー 1 7 B の上方近傍の位置 F P に形成される。

位置 F P に形成されたピンホール像からの発散光束は、レンズ群 1 7 8 を介して平行光束に変換された後、マイクロレンズアレイ 1 7 9 に入射する。マイクロレンズアレイ 1 7 9 は、フライアイレンズと同様に、多数の微小レンズ要素を二次元的に稠密に配列することによって構成された光学素子である。マイクロレンズアレイ 1 7 9 に平行光束が入射すると、入射光束は各微小レンズ要素によって波面分割され、その後側焦点面の近傍には集光点 1 8 1 がそれぞれ形成される。多数の集光点 1 8 1 が形成される位置には、CCD 等の撮像素子 1 8 0 の撮像面が位置決めされている。こうして、撮像素子 1 8 0 により、各集光点 1 8 1 の位置がそれぞれ計測される。

シャックハルトマンセンサー 1 7 B に入射する光束は、投影光学系 1 5 を透過した光束であるため、投影光学系 1 5 の収差（波面収差）によって、その波面が

微妙に変形している。その結果、各集光点 181 の位置は、投影光学系 15 が無収差のときに集光する各基準位置から、投影光学系 15 の波面収差に依存する微小量だけそれぞれ位置ずれする。したがって、シャックハルトマンセンサー 17 B では、各集光点 181 の各基準位置からの位置ずれ量を計測することにより、投影光学系 15 の波面収差を算定することができる。

なお、収差計測ユニット 17 は、上述のシェアリング干渉計 17 A およびシャックハルトマンセンサー 17 B に限定されることなく、たとえば前述の PDI を用いることもできる。あるいは、テストレチクル 14 上の検査パターンとしてのピンホールの投影光学系 15 による投影像そのものを検出し、その空間像のフーリエ変換から波面収差を算定する方法を用いることもできる。

また、以上の説明では、計測対象である投影光学系 15 に対して物体側（レチクル側）から露光波長の光束を照射し、その像側（ウエハ側）で受光した光束に基づいて投影光学系 15 を透過する際に生じた収差（波面収差）を計測する構成を採用している。しかしながら、これとは反対に、投影光学系 15 に対して像側（ウエハ側）から露光波長の光束を照射し、その物体側で受光した光束に基づいて投影光学系 15 を透過する際に生じた波面収差を計測する構成を採用することもできる。

また、投影光学系 15 の波面収差を測定する他の方法として、フィゾー干渉計やトワイマングリーン干渉計を応用した測定方法を採用するのであれば、投影光学系 15 の像側または物体側のいずれか一方の側を、照射側（送光側）および受光側に設定することもできる。この場合、照射側でも受光側でもない他方の側における計測光束の集光点の近傍に、その集光点を球心とする球面反射鏡を設置し、この球面反射鏡により照射側からの計測光を受光側へ戻すように構成すればよい。

第 5 図は、第 2 図の偏光制御光学系の構成を概略的に示す図である。第 5 図を参照すると、偏光制御光学系 8 への入射光束 L2 は、第 1 のプリズム部材 81 A と第 2 のプリズム部材 81 B とから構成されたロシオンプリズム 81 に入射する。ロシオンプリズム 81 は、フッ化マグネシウム等の大きな複屈折を有する 1 軸性結晶材料で形成されている。ロシオンプリズム 81 の構成は、一般的なロシオン

プリズムと同様であり、第1のプリズム部材81Aでは1軸性結晶の光学軸が光束L2の進行方向と平行な方向（Z方向）に設定され、第2のプリズム部材81Bでは1軸性結晶の光学軸が第5図の紙面と垂直な方向（Y方向）に設定されている。

ロシヨンプリズム81では、入射光束L2のうち、紙面に平行な方向（X方向）に偏光方向を有する直線偏光の光束は直進し、紙面に垂直な方向（Y方向）に偏光方向を有する直線偏光の光束は屈折作用を受ける。すなわち、ロシヨンプリズム81への入射光束L2は、紙面に平行な偏光方向を有する直線偏光の直進光L_O（図中実線で示す）と、紙面に垂直な偏光方向を有する直線偏光の屈折光L_E（図中破線で示す）とに分割される。屈折光L_Eは開口絞り84により遮蔽され、直進光L_Oのみが開口絞り84を通過して1/2波長板82に入射する。

このように、ロシヨンプリズム81は、入射光束から所定方向に沿って偏光した所定の直線偏光の光束を分離するための直線偏光分離手段を構成している。なお、F₂レーザー光もArFレーザー光もある程度の偏光特性を有するので、入射光束L2により多く含まれる直線偏光成分の方向に直進光L_Oの偏光方向を合致させると、光量確保の点で有利になる。この目的のためには、第2のプリズム部材81Bの光学軸と、光束L2により多く含まれる直線偏光成分の方向とを直交させることが好ましい。

上述したように、直進光L_Oは、1/2波長板82に入射する。1/2波長板82は、フッ化マグネシウム等の1軸性結晶材料、あるいは蛍石等の立方晶系の結晶材料で形成されている。1/2波長板82を1軸性結晶で形成する場合、その光学軸がZ軸と直交するように設定する。これは、一般的な1/2波長板と同様であり、1/2波長板82の長さS1の設定方法も一般的な1/2波長板と同じである。

一方、1/2波長板82を蛍石等の立方晶系の結晶材料で形成する場合、その結晶軸〔110〕がZ軸と一致するように設定する。これは、結晶軸〔110〕に平行な方向に沿って光束が進むときに、複屈折が最大になるからである。結晶が蛍石の場合、結晶軸〔110〕に平行な方向に進む光での複屈折量は、結晶軸

[1 0 0] の方向に偏光方向（電場方向）を有する光の屈折率 n_{100} と、結晶軸 [0 - 1 1] の方向に偏光方向を有する光の屈折率 n_{011} との差として、波長 193 nm の ArF レーザー光に対しては 3.2×10^{-7} 程度であり、波長 157 nm の F_2 レーザー光に対しては 11.2×10^{-7} 程度となる。

これは、蛍石を 1 cm 進行する毎に、進行する両直線偏光での波面の相対位置関係が、ArF レーザー光では 3.2 nm 変化し、 F_2 レーザー光では 11.2 nm 変化することを表わしている。したがって、蛍石で形成された 1/2 波長板 82 の長さ S1 を 7.0 cm に設定すると、 F_2 レーザー光に対しては、 $7.0 \times 11.2 \text{ nm} \div 78 \text{ nm}$ となり、両直線偏光の間に 1/2 波長の光路差が生じる。すなわち、1/2 波長板として作用することになる。

なお、1/2 波長板 82 は、Z 方向を回転軸として回転可能に設置されている。したがって、1/2 波長板 82 の回転位置によって、射出光束 L3 の偏光状態を、入射光束 L0 と同様に紙面に平行な X 方向に偏光方向を有する直線偏光状態と、紙面に垂直な Y 方向に偏光方向を有する直線偏光状態との間で切り換えることができる。このように、1/2 波長板 82 は、所定の直線偏光の光束の偏光面をその光束の中心軸線を中心として回転させるための偏光面回転手段を構成している。

本実施形態では、X 方向に偏光方向を有する直線偏光の光束を投影光学系 15 に入射させ、投影光学系 15 を透過した光束に基づいて X 方向偏光に対する光学系の収差を計測する。次いで、Y 方向に偏光方向を有する直線偏光の光束を投影光学系 15 に入射させ、投影光学系 15 を透過した光束に基づいて Y 方向偏光に対する光学系の収差を計測する。こうして、X 方向偏光に対して得られた収差計測結果と Y 方向偏光に対して得られた収差計測結果とに基づいて、蛍石などの結晶で形成された結晶レンズの複屈折に起因する投影光学系 15 の残収差を測定する。

第 3 図および第 4 図に例示した収差計測ユニット（17A および 17B）は、いずれも直線偏光での収差計測が可能な系であるため、互いに直交する偏光方向を有する 2 つの直線偏光の光束の各々について収差計測することに何ら問題はない。ただし、第 2 図に示すミラー 9 および 11 の構成によっては、光束 L3 の偏

光状態を変化させてしまうので、ミラー 9 および 11 は光束 L 3 の偏光状態を変化させない構成とすることが好ましい。また、ロシヨンプリズム 81 の透過光（直進光）L O の偏光方向がミラー 9 および 11 の反射面に対して P 偏光または S 偏光になるように設定（その中間状態にはならないように設定）することにより、ミラー 9 および 11 による偏光状態の変化を防止することもできる。

第 6 図は、第 5 図の 1/2 波長板に代えて一对の 1/4 波長板を用いた変形例を示す図である。第 6 図の変形例は、第 5 図の 1/2 波長板 82 に代えて一对の 1/4 波長板 82 A および 82 B を用いても同様の効果を得ることができることを示している。第 6 図を参照すると、光学部材 82 A および光学部材 82 B はともに 1/4 波長板であり、1 軸性結晶材料または立方晶系の結晶材料で形成されている。また、第 5 図の 1/2 波長板 92 と同様に、両方の 1/4 波長板 82 A および 82 B は、Z 軸方向を中心として回転可能に構成されている。

1/4 波長板 82 B または 82 A が 1 軸性結晶材料で形成されている場合、その構造は一般的な 1/4 波長板と同様である。1/4 波長板 82 B または 82 A が立方晶系の結晶材料で形成されている場合、その構造は第 5 図の 1/2 波長板 82 と基本的に同様であるが、その長さ S 2 および S 3 は半分となる。すなわち、F₂ レーザ光に対しては、3.5 cm の長さで 1/4 波長板となる。入射側の 1/4 波長板 82 B は、その設定角度に応じて直線偏光の入射光 L O を円偏光の光束 L T に変換して射出することが可能である。

この場合、1/4 波長板 82 A からの射出光束 L 3 は、1/4 波長板 82 A の回転方向に一致する偏光方向を有する直線偏光の光束となる。換言すれば、1/4 波長板 82 A の回転に応じて、光束 L 3 を任意の偏光方向を有する直線偏光の光束とすることができる。また、1/4 波長板 82 B の設定角度によっては、射出光束 L T を入射光束 L O と同じ直線偏光とすることができる。この場合には、1/4 波長板 82 A の回転方向によっては、射出光束 L 3 を右回りまたは左回りの円偏光の光束とすることができる。

第 5 図の 1/2 波長板 82 を用いた場合には、射出光 L 3 の偏光状態を、互いに直交する 2 つの直線偏光状態に切り換えることはできるが、2 つの偏光状態を

全体として回転させることはできない。一方、第6図の一对の1/4波長板82Bまたは82Aを用いた場合には、射出光L3の偏光状態を、互いに直交する2つの直線偏光状態に切り換えることに加え、2つの偏光状態を全体として回転させることもできるので、一層好都合である。また、射出光L3を円偏光状態とすることもでき、この場合には自然光（ランダム偏光）に近い状態の光束で投影光学系15の収差を計測できるので、複屈折の影響を無視した収差計測を行うこともできる。

ところで、投影光学系15に残存する複屈折による波面収差が大きいと、投影光学系15を透過する光束内での所定の直交する直線偏光の波面の差が大きくなり、これが1/2波長板や1/4波長板と同様に作用して、光束の偏光状態を変換してしまうこともあり得る。第7図に示す偏光変換計測ユニット30は、投影光学系15によって、このような偏光の変換がどの程度生じているかを計測するための装置である。偏光変換計測ユニット30は、例えば第2図中の収差計測ユニット17と並んでステージ19上に設置される。

第7図を参照すると、テストレチクル14上のピンホールパターンを透過した光が、投影光学系15を介して偏光変換計測ユニット30の上方近傍の位置FPにピンホール像を形成する。位置FPに形成されたピンホール像からの発散光束は、レンズ群182によって平行光束に変換された後、一对の1/4波長板183および184を介して、ロシヨンプリズム185に入射する。ロシヨンプリズム185では、直線偏光成分によって光束が分割され、第7図の紙面に平行な方向に偏光方向を有する直線偏光の光束L10は、CCD等の撮像素子186に入射する。

第6図に示す一对の1/4波長板82Bおよび82Aと同様に、一对の1/4波長板183および184の光軸に対する回転角度によっては、投影光学系15から射出される光束の偏光方向を、ロシヨンプリズム185に対して最適化することができる。すなわち、ロシヨンプリズム185への入射光の偏光方向とその射出光（直進光）L10の偏光方向とが同一になるように、一对の1/4波長板183および184の回転方向を初期設定する。そして、この初期設定状態で、

撮像素子186からの光量信号SG1を採取する。これは、基本的には、投影光学系15の瞳面内透過率を計測することに他ならない。

次いで、ロシオンプリズム185への入射光の偏光方向とその射出光（直進光）L10の偏光方向とが直交するように、一对の1/4波長板183および184の回転方向を設定する。そして、この設定状態においても、撮像素子186からの光量信号SG2を採取する。この場合、投影光学系15に複屈折に起因する直交する直線偏光間の波面のズレ（リタデーション）が無ければ、光量信号SG2は0になるはずである。したがって、光量信号SG2と光量信号SG1との比率から、投影光学系15内での偏光の変換比率を算定することができる。また、これに基づいて、投影光学系15の複屈折に伴う波面収差の量を概略的に算定することもできる。

ところで、本実施形態の収差計測装置を用いて投影光学系15における複屈折に伴う残存収差の測定結果が得られると、この測定結果や投影光学系15の設計データや蛍石等の結晶材料の複屈折特性などに基づいて、複屈折に伴う残存収差を除去するためにどのレンズエレメントをどのように調整すればよいかを判断することができる。具体的な調整方法は、投影光学系15のタイプによって異なるので一概には決まらない。一般的には、蛍石等の結晶からなるレンズ（151～164）を光軸廻りに回転させるクロッキング調整や、光軸に沿って移動させる移動調整や、光軸とほぼ直交する面に沿って移動させるシフト調整や、光軸に対して傾斜させるチルト調整などが適用可能である。

すなわち、本実施形態の調整方法において、投影光学系15から複屈折の影響による波面収差を除去する手順では、本実施形態の収差計測装置によって複屈折に伴う残存収差を測定する。次いで、測定された収差結果や投影光学系15の設計データや蛍石等の結晶材料の複屈折特性などに基づいて、複屈折に伴う残存収差を補正するためにどのレンズエレメントをどの程度調整すればよいかを算定する。そして、算定結果に基づいて、投影光学系15の光学調整を行う。投影光学系15の光学調整後に、本実施形態の収差計測装置を用いて複屈折に伴う残存収差を再度測定する。測定された収差結果を参照して、複屈折に伴う収差が良好に

補正されていれば調整工程は完了するが、複屈折に伴う収差が十分に補正されていなければ上記調整工程を繰り返すことになる。

なお、上述の実施形態では、複屈折性の光学材料としてフッ化カルシウム結晶（蛍石）を用いているが、これに限定されることなく、他の一軸性結晶、たとえばフッ化バリウム結晶（ BaF_2 ）、フッ化リチウム結晶（ LiF ）、フッ化ナトリウム結晶（ NaF ）、フッ化ストロンチウム結晶（ SrF_2 ）、フッ化ベリリウム結晶（ BeF_2 ）など、紫外線に対して透明な他の結晶材料を用いることもできる。このうち、フッ化バリウム結晶は、すでに直径200mmを越す大型の結晶材料も開発されており、レンズ材料として有望である。この場合、フッ化バリウム（ BaF_2 ）などの結晶軸方位も本発明に従って決定されることが好ましい。

上述の実施形態の露光装置では、照明装置によってレチクル（マスク）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、本実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウエハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき第8図のフローチャートを参照して説明する。

まず、第8図のステップ301において、1ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウエハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ303において、本実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウエハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。

その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極め

て微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができ。なお、ステップ301～ステップ305では、ウエハ上に金属を蒸着し、その金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っているが、これらの工程に先立って、ウエハ上にシリコンの酸化膜を形成後、そのシリコンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチング等の各工程を行っても良いことはいうまでもない。

また、本実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、第9図のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。第9図において、パターン形成工程401では、本実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列されたりしたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液

晶セル)の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

なお、上述の実施形態では、露光装置に搭載される投影光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、他の一般的な光学系に対して本発明を適用することもできる。また、上述の実施形態では、193nmの波長光を供給するArFエキシマレーザー光源や157nmの波長光を供給するF₂レーザー光源を用いているが、これに限定されることなく、たとえば126nmの波長光を供給するAr₂レーザー光源などを用いることもできる。

産業上の利用の可能性

以上説明したように、本発明の収差測定装置および収差測定方法では、互いに直交する偏光方向を有する2つの直線偏光による収差計測値の差を求めることにより、蛍石などの結晶で形成された光学部材の複屈折に起因する光学系の残存収差を高精度に測定することができる。また、本発明の収差測定装置および収差測定方法を用いて高精度に測定した収差結果に基づいて、複屈折に起因する光学系の残存収差を良好に除去することができる。さらに、本発明では、良好に光学調整された良好な光学性能を有する光学系を備えた露光装置を実現することができる。また、本発明では、良好な光学性能を有する光学系が搭載された露光装置を用いて、高解像度の露光技術にしたがって高性能のマイクロデバイスを製造することができる。

請 求 の 範 囲

1. 立方晶系に属する結晶で形成された光学部材を含む光学系の収差を測定する収差測定装置であって、

前記光学系に所定の光束を照射するための光束照射ユニットと、

前記光学系を透過した光束に基づいて前記光学系の収差を計測するための収差計測ユニットとを備え、

前記光束照射ユニットは、第1の方向に沿って偏光した第1の直線偏光と、前記第1の方向とは異なる第2の方向に沿って偏光した第2の直線偏光との間で、前記所定の光束の偏光状態を切り換えるための偏光切換え手段を有することを特徴とする収差測定装置。

2. 請求の範囲第1項に記載の収差測定装置において、

前記第1の方向と前記第2の方向とはほぼ直交することを特徴とする収差測定装置。

3. 請求の範囲第1項または第2項に記載の収差測定装置において、

前記収差計測ユニットは、前記第1の直線偏光の光束が照射された前記光学系を透過した光束に基づいて計測した第1収差計測結果と、前記第2の直線偏光の光束が照射された前記光学系を透過した光束に基づいて計測した第2収差計測結果とに基づいて、前記光学部材の複屈折に起因する前記光学系の収差を測定することを特徴とする収差測定装置。

4. 請求の範囲第1項乃至第3項のいずれか1項に記載の収差測定装置において、

前記偏光切換え手段は、

入射光束から所定の方向に沿って偏光した所定の直線偏光の光束を分離するための直線偏光分離手段と、

前記直線偏光分離手段を介して分離された前記所定の直線偏光の光束の偏光面を、前記所定の直線偏光の光束の中心軸線を中心として回転させるための偏光面回転手段とを有することを特徴とする収差測定装置。

5. 請求の範囲第4項に記載の収差測定装置において、

前記直線偏光分離手段は、ロシヨンプリズムを有することを特徴とする収差測定装置。

6. 請求の範囲第4項または第5項に記載の収差測定装置において、

前記偏光面回転手段は、前記中心軸線を中心として回転可能な1/2波長板を有することを特徴とする収差測定装置。

7. 請求の範囲第4項または第5項に記載の収差測定装置において、

前記偏光面回転手段は、前記中心軸線を中心として回転可能な第1の1/4波長板と、前記中心軸線を中心として回転可能な第2の1/4波長板とを有することを特徴とする収差測定装置。

8. 請求の範囲第1項乃至第7項のいずれか1項に記載の収差測定装置において、

前記光束の波長は、193nmまたは157nmであることを特徴とする収差測定装置。

9. 立方晶系に属する結晶で形成された光学部材を含む光学系の収差を測定する収差測定方法であって、

第1の方向に沿って偏光した第1の直線偏光の光束を前記光学系に照射する第1照射工程と、

前記第1の直線偏光の光束が照射された前記光学系を透過した光束に基づいて前記光学系の収差を計測するための第1収差計測工程と、

前記第 1 の方向とは異なる第 2 の方向に沿って偏光した第 2 の直線偏光の光束を前記光学系に照射する第 2 照射工程と、

前記第 2 の直線偏光の光束が照射された前記光学系を透過した光束に基づいて前記光学系の収差を計測するための第 2 収差計測工程と、

前記第 1 収差計測工程で得られた第 1 収差計測結果と前記第 2 収差計測工程で得られた第 2 収差計測結果とに基づいて、前記光学部材の複屈折に起因する前記光学系の収差を測定する収差測定工程とを含むことを特徴とする収差測定方法。

10. 請求の範囲第 9 項に記載の収差測定方法において、

前記第 1 の方向と前記第 2 の方向とはほぼ直交することを特徴とする収差測定方法。

11. 請求の範囲第 9 項または第 10 項に記載の収差測定方法において、

前記光束の波長は、193 nm または 157 nm であることを特徴とする収差測定方法。

12. 請求の範囲第 2 項乃至第 8 項のいずれか 1 項に記載の収差測定装置を用いて測定された前記光学系の収差測定結果、または請求の範囲第 9 項乃至第 11 項のいずれか 1 項に記載の収差測定方法を用いて測定された前記光学系の収差測定結果に基づいて、前記光学部材の複屈折に起因して前記光学系に残存する収差を実質的に除去するために前記光学系を光学調整する光学調整工程を含むことを特徴とする調整方法。

13. 請求の範囲第 12 項に記載の調整方法において、

前記光学調整工程は、前記光学部材を前記光学系の光軸を中心として回転させるクロッキング工程と、前記光学部材を前記光軸に沿って移動させる移動工程と、前記光学部材を前記光軸とほぼ直交する面に沿って移動させるシフト工程と、前記光学部材を前記光軸に対して傾斜させるチルト工程とのうちの少なくとも 1 つ

の工程を含むことを特徴とする調整方法。

14. マスクを照明するための照明光学系と、

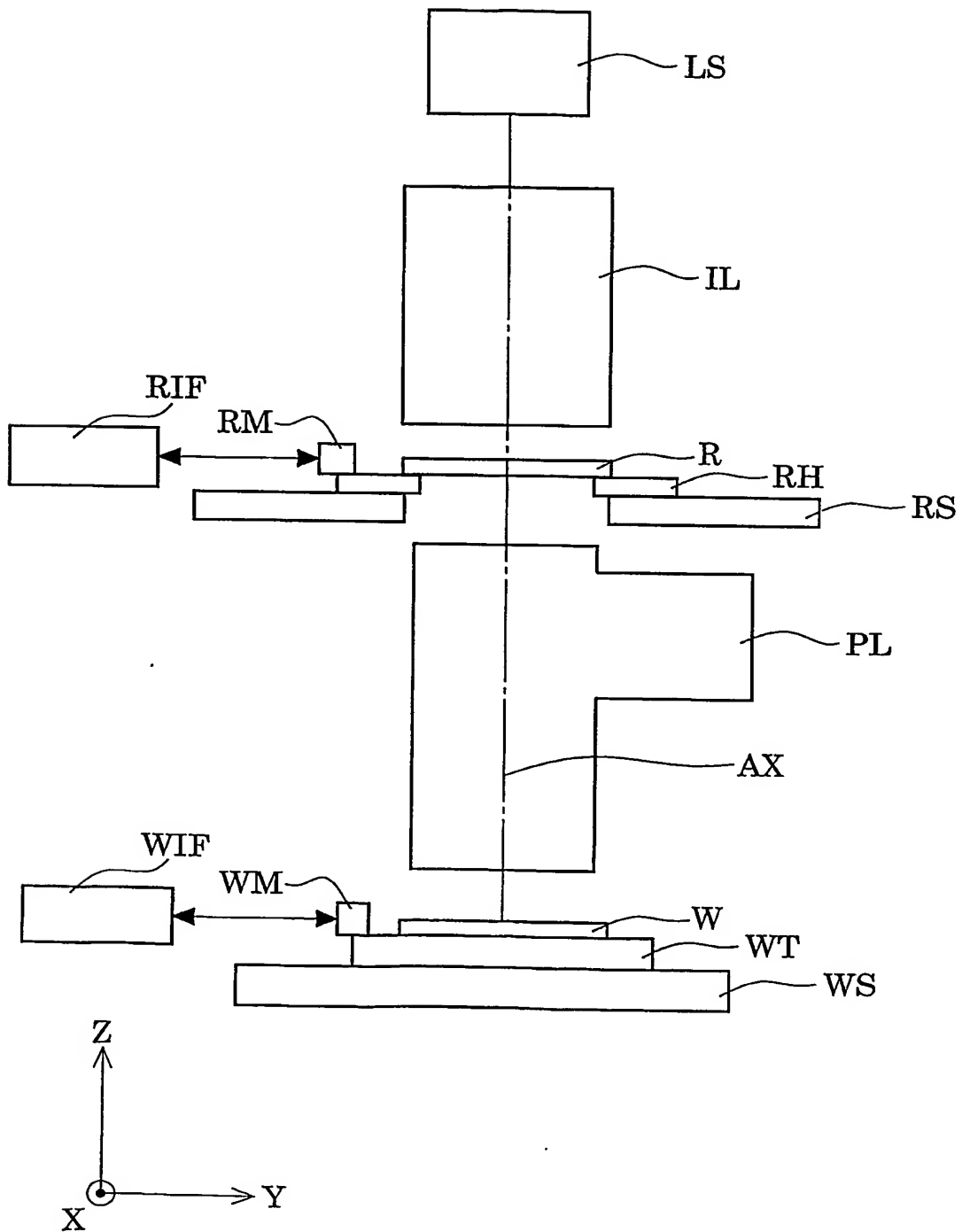
前記マスクに形成されたパターンの像を感光性基板上に形成するための請求の範囲第12項または第13項に記載の調整方法で調整された光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

15. 請求の範囲第14項に記載の露光装置を用いて前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する露光工程と、

前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

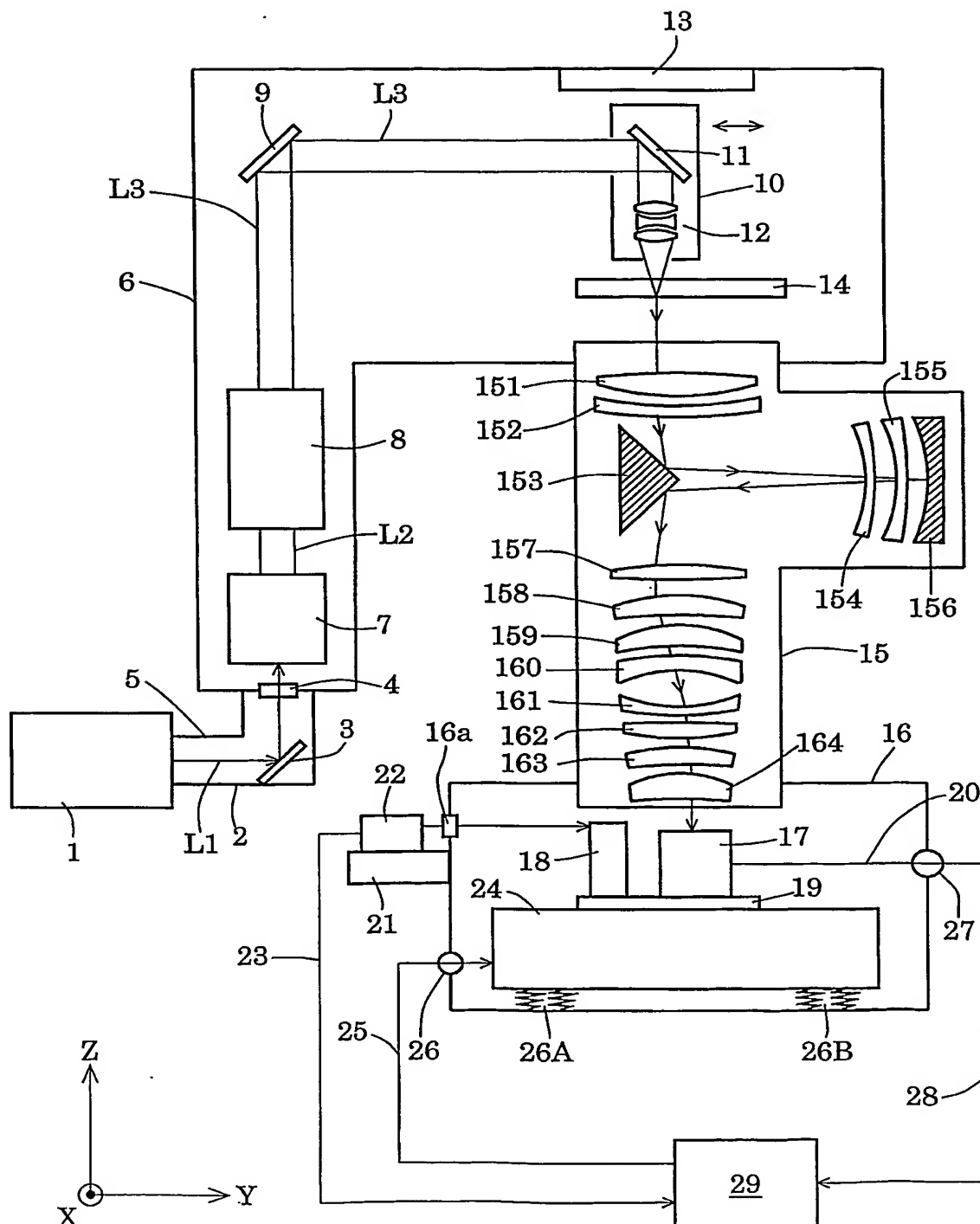
1 / 9

第 1 図

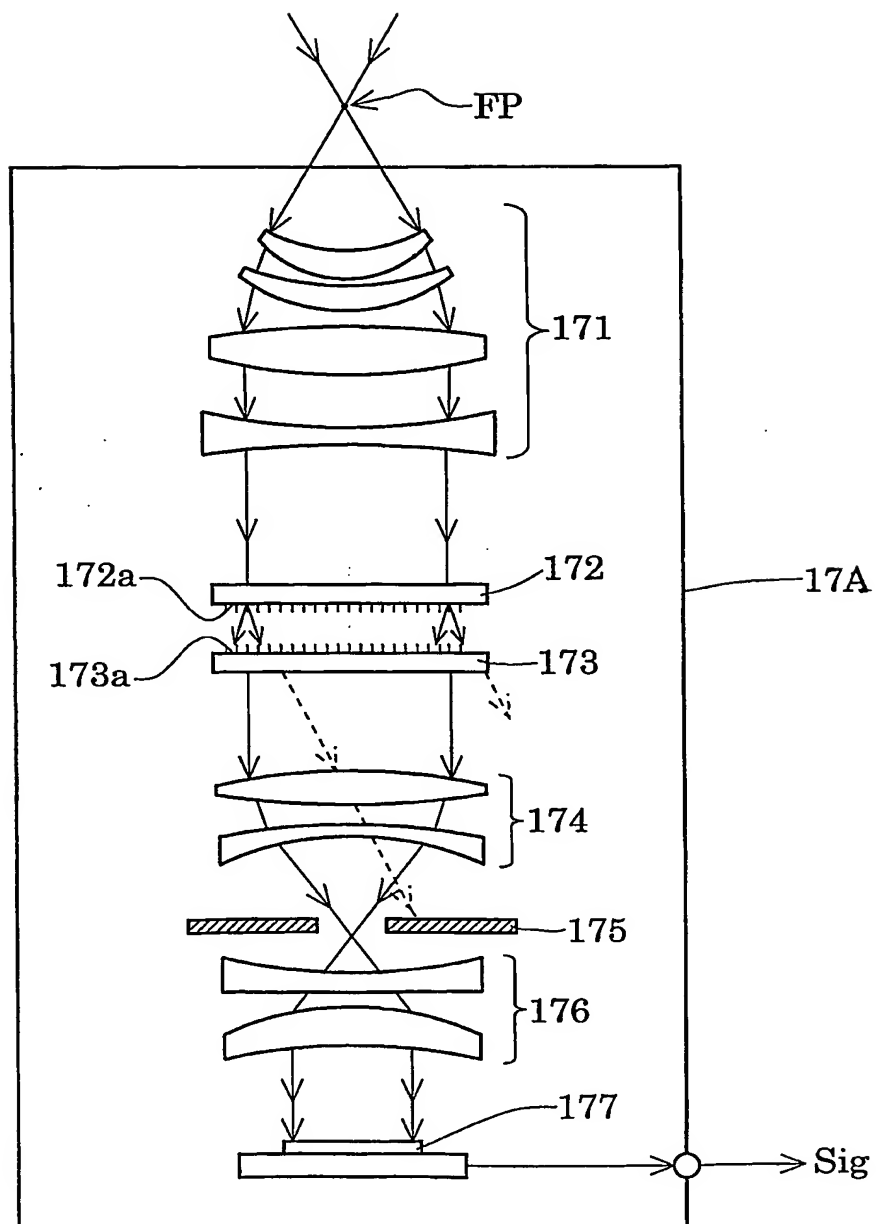


2 / 9

第 2 図

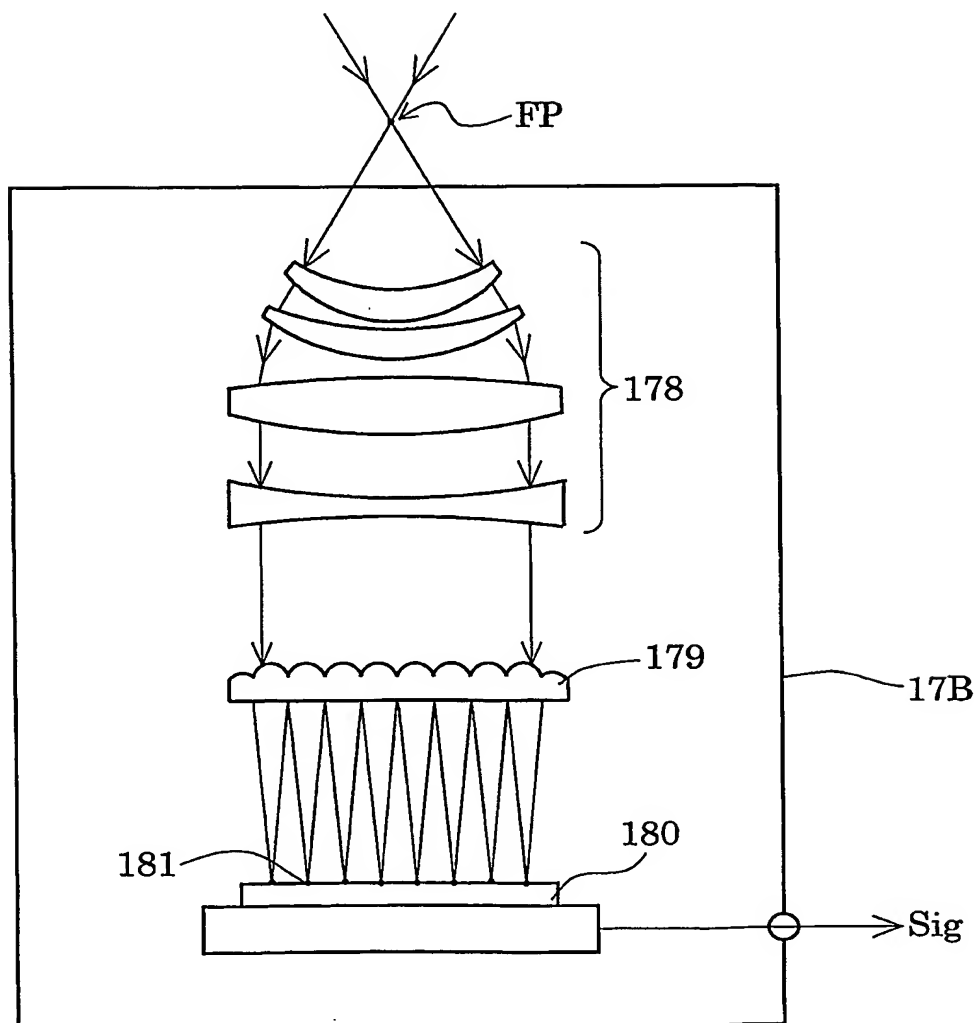


第 3 図



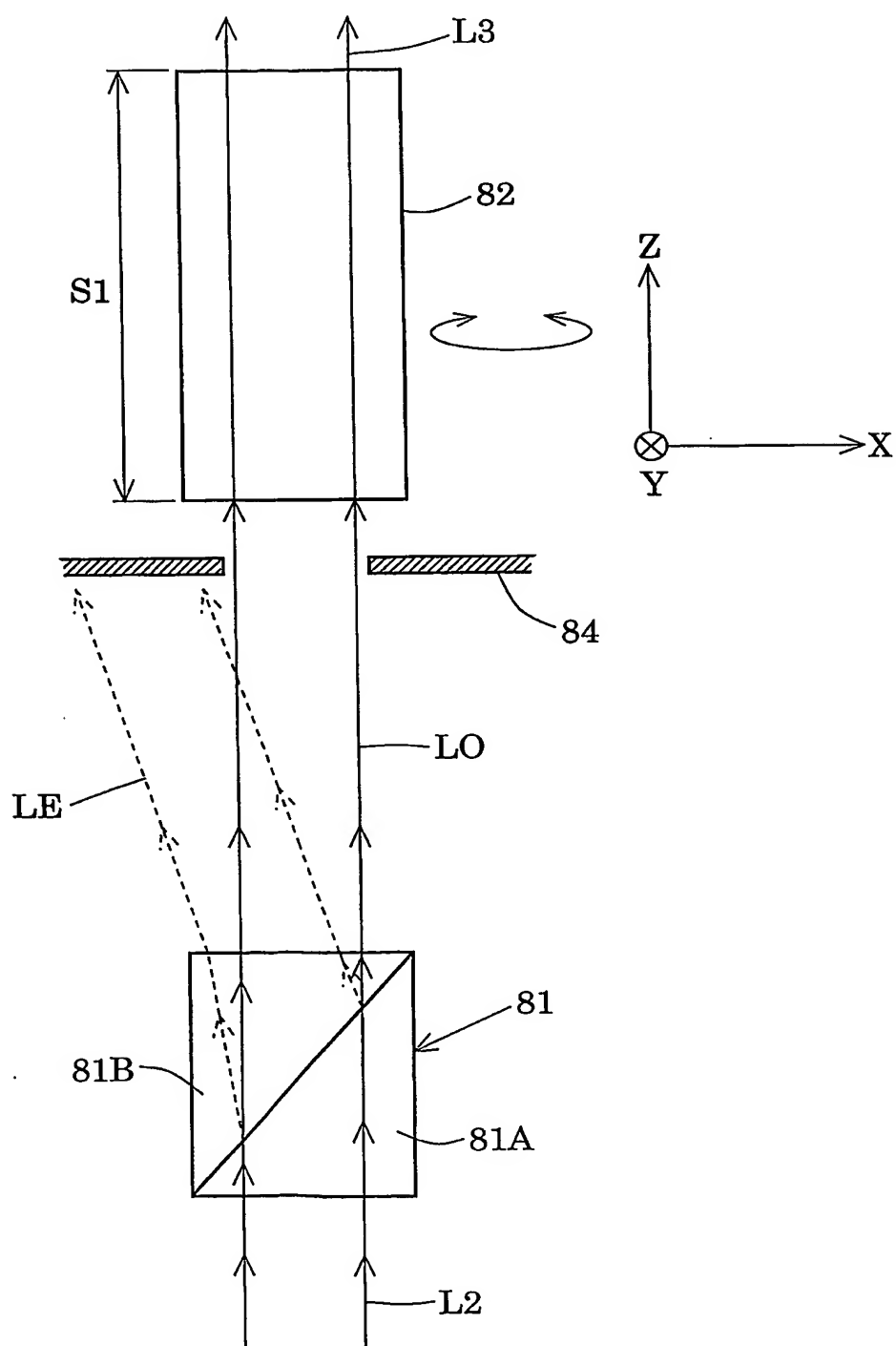
4 / 9

第 4 図

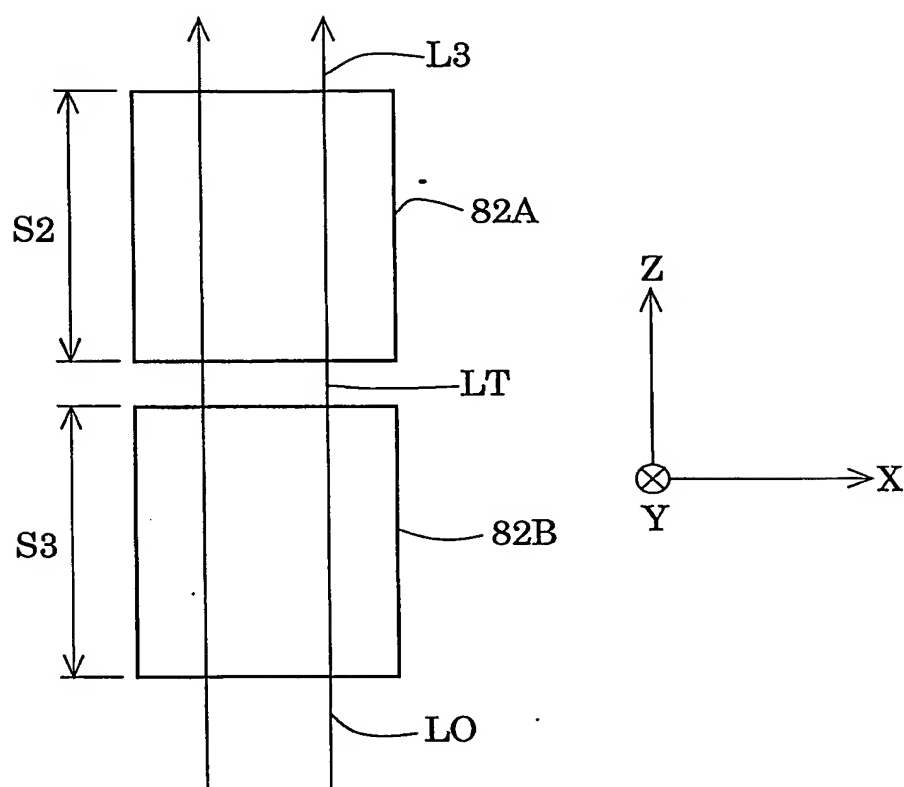


5 / 9

第 5 図

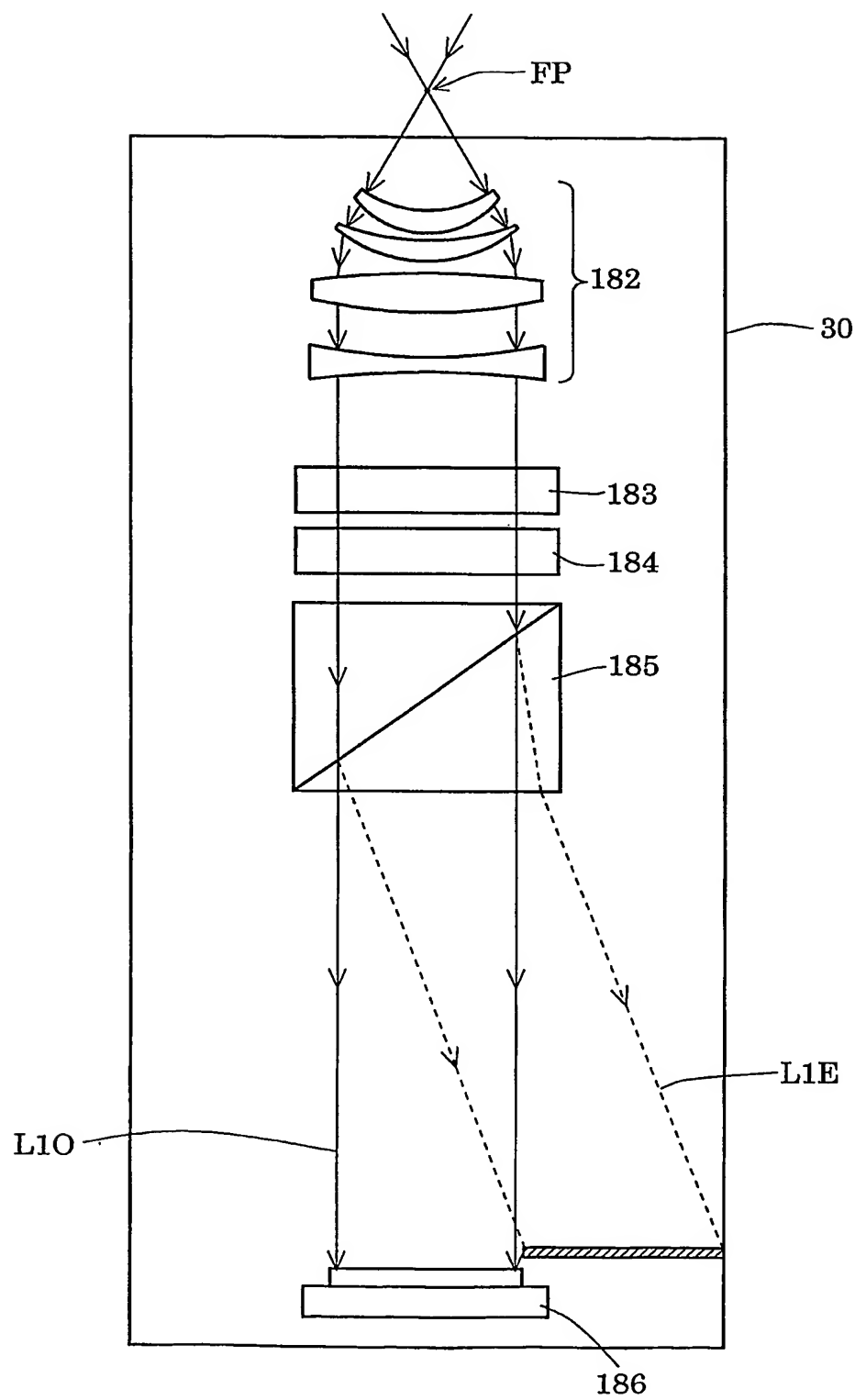


第 6 図



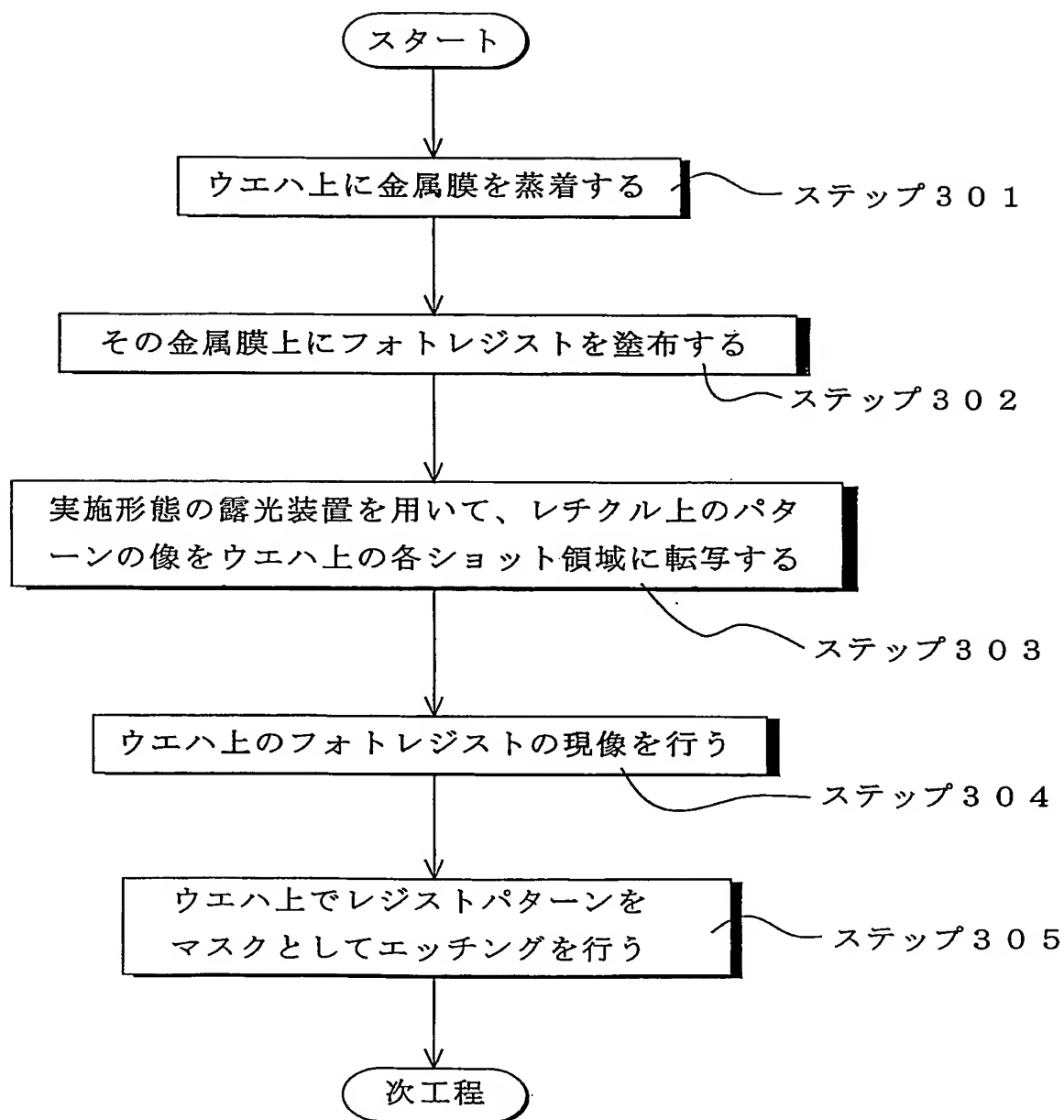
7 / 9

第 7 図



8 / 9

第 8 図



9 / 9

第 9 図

